Ecole Nationale Supérieure de Technologies avancées
Département de Génie Électrique et Informatique Industrielle
STR2…

Micro-ondes : TP N°2
Etude de longueur d'onde et Mesure de T.O.S (VSWR)

I- Etude de longueur d'onde

Introduction
Les méthodes de mesure de fréquence faisant appel à des appareillages complexes, il est souvent utile de pouvoir mesurer la longueur d'onde d'une manière simple.

Rappels théoriques
La fréquence et la longueur d'onde d'une onde électromagnétique sont liées à la vitesse de propagation de cette onde dans le milieu par la relation :

$$f\,\lambda = v \qquad (1)$$

avec: f : fréquence
λ : longueur d'onde
v : vitesse de propagation de l'onde électromagnétique

La vitesse de propagation est variable avec le milieu et dépend de sa permittivité ε et de sa perméabilité μ.
Dans le vide (air libre), la vitesse de propagation est donnée par :

$$V_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\,\varepsilon_0}} \qquad (2)$$

avec μ_0 et ε_0 perméabilité et permittivité de l'air libre.

$\mu_0 = 4\,\pi\,10^{-7}$ H/m (Henry par mètre)

$\varepsilon_0 = (1/36\,\pi)\,10^{-9}$ F/m (Farad par mètre)

Pour un milieu quelconque :

$$v = \frac{V_0}{\sqrt{\mu_r\,\varepsilon_r}} \qquad (2)$$

$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ perméabilité relative du milieu $\quad \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ constante diélectrique (permittivité) relative du milieu

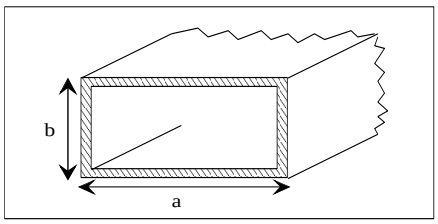
Pour la plupart des cas : $\frac{\mu}{\mu_0} = 1 \Rightarrow v = \frac{V_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$

et $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$

Rappelons que dans les conditions de propagation guidée, les longueurs d'onde λ0 (en propagation libre), λg (en propagation guidée) et λc (en propagation de coupure) sont liées par :

$$\frac{1}{\lambda_0^2} = \frac{1}{\lambda_g^2} + \frac{1}{\lambda_c^2} \qquad (4)$$

Où λ_c est la ***longueur d'onde de coupure*** correspondant au mode fondamental d'un **guide réctangulaire.*TE*$_{10}$**
Avec $\lambda c = 2a$ pour le mode fondamental TE10. **a = *22,86 mm*** dans le ca du guide d'onde rectangulaire RG100



Sachant que : $\lambda c = 2a$, V_0= C= 310 m/s et $\lambda_0 = \frac{V_0}{f}$

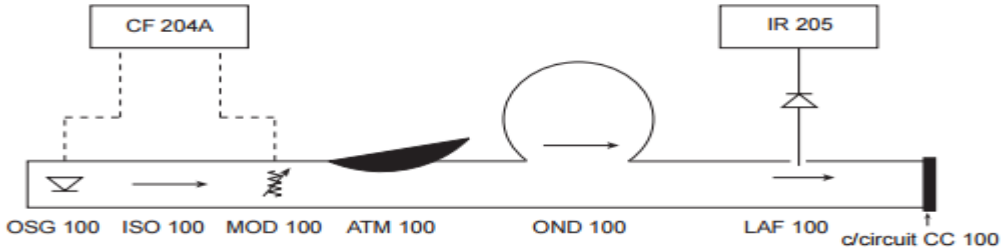
On peut déterminer, à partir de l'expression (4), la fréquence ***f*** en **mesurant la longueur d'onde λ_g** par :

$$f = \frac{V_0\,\sqrt{\lambda_g^2 + 4\,a^2}}{2\,a\,\lambda_g}$$

Il suffit donc de mesurer la longueur d'onde dans le guide λ_g pour obtenir f, ou inversement.

Mesures :

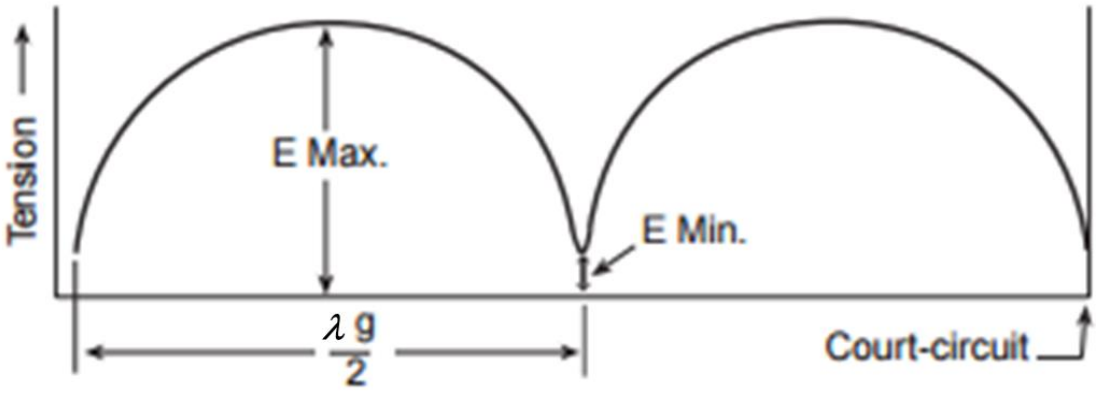
La méthode utilisée fait appel à une mesure directe sur une onde stationnaire.
A cet effet, une ligne de mesure est utilisée pour déterminer l'écart entre deux maxima (ou deux minima) existant sur une ligne de transmission dans laquelle on a provoqué une répartition d'onde stationnaire.
On sait en effet que, en régime d'onde stationnaire, la longueur d'onde λg , dans la ligne, correspond à deux fois la longueur physique entre deux "ventres" ou deux "nœuds" de tension.
La longueur d'onde dans l'air λ_0, et la fréquence ***f*** peuvent être déduites de la valeur mesurée de λg , en utilisant les expressions
Le montage utilisé est celui de la figure suivante.



1- Régler l'oscillateur gunn à f = 9 GHz en utilisant l'ondemètre et en détectant le pic de résonance.
2- le court-circuit fourni est placé en bout de la ligne de mesure
3- Déplacer le chariot de la sonde le long de la ligne ORITEL LAF 100 et déterminer λ_g en mesurant la distance entre deux minimums successifs.

3- Déterminer (Calculer) f et λ_0 (on donne : a = 22,86).

4- Comparer la valeur de la fréquence f trouvée en 3 à celle fixée en 1 au moyen de l'ondemètre à absorbtion.
-Conclusion ?



Impédance de charge en court-circuit : $Z_c = 0$

II Mesure de T.O.S (VSWR)

Théorie:

Toute ligne de transmission chargée par une impédance Z_T (Z_T non adaptée) est le siège d'ondes stationnaires, phénomène résultant de la présence simultanée sur la ligne d'une onde incidente et d'une onde réfléchie par Z_T (fig:1).

En pratique, on utilise, pour déterminer le *T.O.S* une «ligne de mesure» équipée d'un chariot mobile sur lequel est montée une sonde avec détecteur à cristal. La translation longitudinale du chariot permet d'explorer le champ électrique dans le guide.

Le taux d'ondes stationnaires *T.O.S* sur une ligne de transmission est défini comme le rapport entre la valeur maximale et la valeur minimale du champ le long de la ligne.

Par définition, le taux d'ondes stationnaires est tel que $S = T.O.S = \dfrac{E_T\ max}{E_T\ min}$ (1)

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer le *T.O.S.* Parmi ces méthodes, nous citerons la méthode directe, la méthode des 3 dB et la méthode de l'atténuateur calibré.

A) METHODE DIRECTE:

Dans une ligne de mesure, une faible partie du champ électrique alimente un détecteur à cristal par l'intermédiaire d'une sonde (antenne) pénétrant dans le guide d'ondes.

Dans la méthode directe le *T.O.S.* se lit **directement** sur le «TOS- mètre» branché à la sortie du cristal détecteur. Cette méthode est rapide mais elle ne présente une précision suffisante qu'aux conditions suivantes:

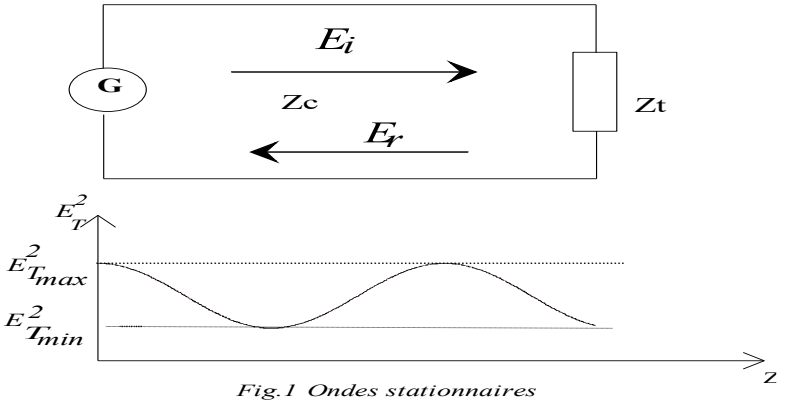


Fig.1 Ondes stationnaires

1) L'enfoncement de la sonde est suffisamment faible pour perturber le moins possible le champ à l'intérieur de la ligne de mesure.

2)Le cristal détecteur travail dans sa zone quadratique c'est-à-dire que la tension détectée «V» est «proportionnelle» à la puissance d'entrée: $V \cong E_T^2$.

Lorsque le *T.O.S* est élevé, l'enfoncement de la sonde doit être augmenté pour obtenir une lecture avec une tension minimale ceci se fera au détriment:

- D'une déformation du champ quand la sonde reçoit une tension maximale.
- D'un risque d'entraîner le cristal hors de sa zone quadratique.

B) METHODE A 3 dB (Méthode de Robert et Von Hippel):

Cette méthode permet d'éviter l'effet de charge de la sonde. La méthode repose sur la mesure les distances entre les points ou la tension de sortie du cristal (proportionnelle à la puissance H.F) est égale au **double** (3dB) de la tension minimale (fig: 2).

On montre dans ces conditions que le (*TOS*) *S* peut s'écrire:

$$S = \frac{1+\sin^2 \beta(d_2 - d_1)}{\sin^2 \beta\left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)} \qquad (2)$$

où:

$\beta = \dfrac{2\pi}{\lambda_g}$ et λ_g la longueur d'onde dans le guide.

Pour *S* suffisamment grand ($S \geq 10$), on peut prendre une relation approchée pour *S:*

$$S = \frac{\lambda_g}{\pi(d_2 - d_1)} \qquad (3)$$

Voir démonstration de (3)en annexe.

1.1 C) METHODE DE L'ATTENUATEUR CALIBRE:

Cette méthode permet d'éliminer l'effet des variations de détection du cristal hors de sa zone quadratique. Le principe consiste à égaliser la tension de sortie du cristal rendue maximale et la tension de sortie rendue minimale au moyen d'un atténuateur inséré

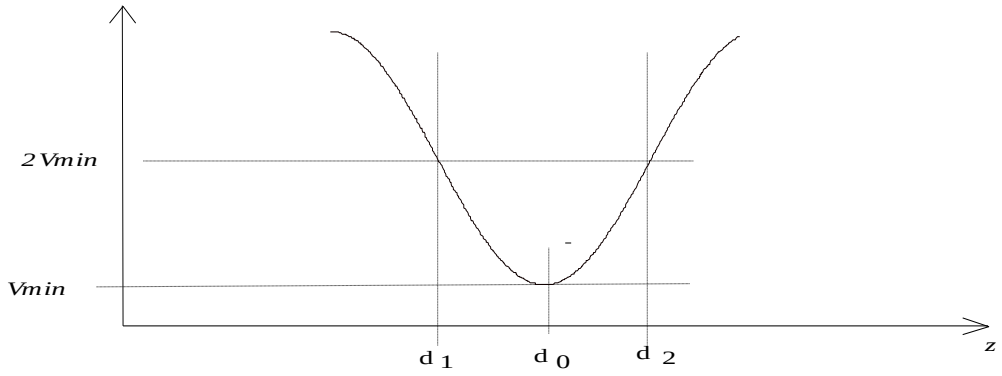


Fig. 2 Méthode des 3 dB

entre le générateur et la ligne de mesure.
la différence d'atténuation(A_2 - A_1) en dB permet de calculer le *T.O.S* S à l'aide de la relation:

$A_2 - A_1 = 20\,log_{10}\,S$ (4)

avec:

A_1 = atténuation correspondant au minimum de champ..

A_2 = atténuation correspondant au maximum de champ..

$A_2 - A_1 = 20\,log_{10}\,S \quad (dB)$ ➡ $S = 10^{(A_2 - A_1)/20}$

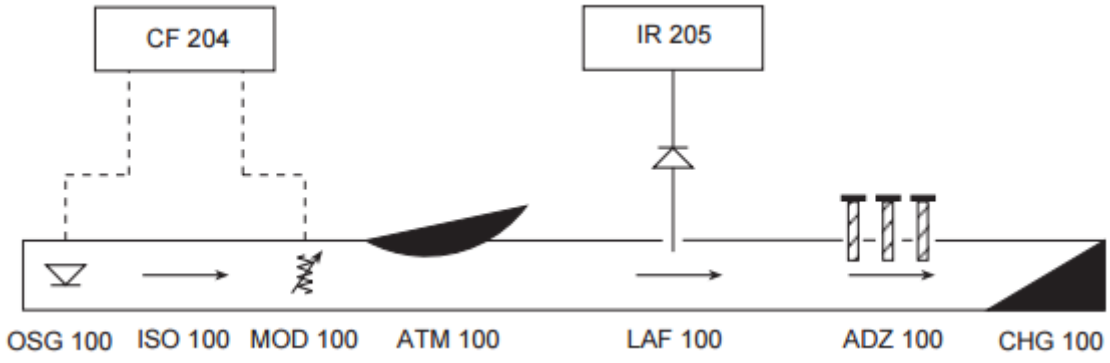
Remarques:

1) La précision de mesure est déterminée par la précision de l'atténuateur d'où l'intérêt d'utiliser un atténuateur de précision.
2) Pour la mesure des *T.O.S* élevés, l'excursion d'atténuation de l'atténuateur est relativement importante, il faut disposer par conséquent d'une grande plage de variation (dB).
3) L'effet de charge de la sonde intervient également sur la précision des mesures.

1.1.1 MATERIEL UTILISE :

1) Alimentation de l'oscillateur Gunn.
2) Générateur - oscillateur Gunn.
3) Isolateur à ferrite.
4) Modulateur
5) Atténuateur variable.
6) Ondemètre à absorption.
7) Ligne de mesure.
9) Adaptateur à vis.
10) Charge adaptée.
11) TOS- mètre.

Effectuer le montage de la figure suivante :



Montage 1

MANIPULATION:

1.2 <u>MESURE DE T.O.S FAIBLES ET MOYENS:</u>

- Atténuateur variable sur une position quelconque.
- Régler le calibre du *T.O.S* mètre sur une position élevée(40 dB par exemple).
- Dévisser totalement les vis plongeurs de l'adaptateur (en fonctionnement nul).

- Mettre l'alimentation de l'oscillateur Gunn en service et régler la fréquence en utilisant l'ondemètre à absorption

Pour régler la fréquence de travail à $f_0 = 9GHz$, on affiche la position en mm sur l'ondemètre correspondant à $f_0 = 9GHz$ (utiliser les abaques adéquats fournis) et on cherche le «***dip***» d'atténuation en agissant sur l'accord mécanique de l'oscillateur Gunn.

A) Déplacer le chariot porte sonde le long de la ligne de mesure. On remarquera que la déviation sur le TOS- mètre varie peut. pourquoi ?
B) Enfoncer complétement la sonde 1 et dévisser totalement les 2 autres.
C) Déplacer le chariot de la ligne de mesure jusqu'à obtenir un maximum de champ.
D) Régler le gain du TOS- mètre jusqu'à la déviation 1.0 sur l'échelle supérieure (max. de champ).
E) Déplacer le chariot de la ligne de mesure jusqu'à obtenir un minimum de champ.
F) Lire directement le *T.O.S S* sur l'échelle supérieur du cadran indicateur.
G) Refaire les mesures pour les positions suivantes des vis d'adaptation :

1 Vis 1 complétement enfoncée Vis 2 complétement enfoncée Vis 3 complétement retirée
*2*_ Vis 1 complétement enfoncée Vis 2 complétement enfoncée Vis 3 complétement enfoncée.
3-Vis 1 complétement enfoncée Vis 2 complétement retirée Vis 3 complétement retirée
4- Vis 1 moyennement enfoncée Vis 2 moyennement enfoncée Vis 3 moyennement enfoncée ;
. Commenter les résultats obtenus.

Remarques:

Lorsque le T.O.S. est tel que S $\leq$ 1.3 : l'échelle dilatée peut être utilisée pour avoir une meilleure précision de mesure. Il faut pour cela se positionner sur «EXPAND» et lire le T.O.S. avec plus de précision sur l'échelle du dessus. Il est néanmoins nécessaire de refaire les réglages C, D et E.

2) Si $3.2 \leq S \leq 10$: augmenter le calibre de 10 dB et refaire le réglage «E».

1.3 <u>MESURE DE T.O.S. ELEVES: (METHODE DES TROIS (3) DB):</u>

A) Vis 1 complétement enfoncée Vis 2 complétement enfoncée Vis 3 complétement enfoncée.
B) Déplacer le chariot de la ligne de mesure de façon à obtenir une ***<u>déviation minimale</u>*** sur le TOS- mètre.
C) Régler le gain du T.O.S- mètre de façon à **positionner l'éguille sur 3 dB (référence**).
Noter la position de la ligne de mesure correspondant à la déviation minimale «d_0».
C) De part et d'autre de «d_0» (à droite et à gauche) déplacer la ligne de mesure de façon à se ramener à chaque fois l'éguille du TOS Mètre sur 0 dB. Noter les deux déplacement «d_1» et «d_2». (Voir fig. 2)
D) Remplacer l'adaptateur et la charge adapté par le court-circuit variable fourni à cet effet.
E) Mesurer la distance entre deux (2) minimes, le double de cette distance donne la longueur d'onde dans le guide λ_g.
F) Calculer le *T.O.S.* «*S*» à l'aide de la relation approchée (3).

1.4 <u>MESURE DE T.O.S. ELEVES: (METHODE DE L'ATTENUATEUR CALIBRE):</u>

A) Mettre en place l'adaptateur à vis et la charge adaptée.
B) Régler la pénétration des 3 vis à l'enfoncement maximal.
C) Déplacer la ligne de mesure jusqu'à obtention ***d'un minimum.***
D) Régler l'atténuateur calibré (à la valeur $A_1 = 10dB$ et le gain du TOS- mètre pour positionner l'éguille sur *3 dB* (référence)
E) Agir sur la ligne de mesure de façon à se déplacer vers un maximum. Simultanément agir sur l'atténuateur calibré de façon à garder l'aiguille du T.O.S- mètre dans le cadran sur *3 dB* (référence)
F) Trouver un maximum sur la ligne tout en réglant l'atténuateur calibré afin de garder la position de l'aiguille du TOS mètre sur trois (3) *dB* (référence)
G) Noter la valeur A_2 (*dB*) de l'atténuateur.
H) Calculer le *T.O.S.* «*S*» en utilisant la relation (4).

Remarque :
Pour mesurer la longueur d'onde guidée lg avec une meilleure précision, il est préférable de remplacer l'ensemble adaptateur ADZ100 et charge adaptée CHG100 du **montage 1** par une bride de court-circuit.

1.1.1.1. Questions:

1) quelle est la configuration (enfoncement des vis de l'adaptateur) qui donne le plus grand (TOS) . pourquoi **?**
2) avec les 3 vis complètement enfoncées, trois méthodes ont été utilisées,
Est-ce que les résultats concordent ? expliquer suivant la réponse.
3) selon vous, laquelle des trois méthodes est la plus précise dans ce cas (les 3 vis complètement enfoncées).
Justifiez votre réponse.

ANNEXE
Double Minimum Method

When standing wave ratios are larger than ten to one, the 'double minimum' measurement system can be used to increase the accuracy and reduce the percentage error (Fig.1).

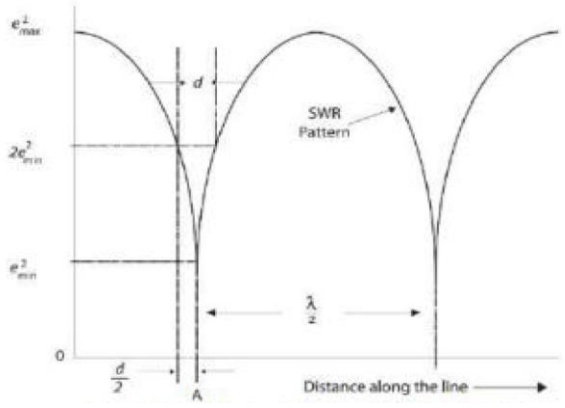


Figure 1: Double Minimum Method

The mathematical expression of the curve is,

$$e = e_{\min}^2 + (e_{\max}^2 - e_{\min}^2)\sin^2\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)$$

Starting at point ' A ', we move to the right $\left(l = \frac{d}{2}\right)$ until the reading is twice ($2e_{min}^2$) what it was at point ' A '.

$$2e_{\min}^2 = e_{\min}^2 + e_{\max}^2\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right) - e_{\min}^2\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)$$

$$\Rightarrow e_{\min}^2\left[1 + \sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)\right] = e_{\max}^2\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{e_{\max}^2}{e_{\min}^2} = \frac{1 + \sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}$$

$$\Rightarrow \frac{e_{\max}^2}{e_{\min}^2} = \frac{2 - \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}$$

$$VSWR = \frac{e_{\max}}{e_{\min}} = \frac{\sqrt{2 - \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}$$

VSWR's with ten or greater angle $\frac{\pi d}{\lambda}$ will be small, So $1 + \sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right) \approx 1$

$$VSWR \approx \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}$$

Because of the small angle, $\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right) \approx \frac{\pi d}{\lambda}$

$$VSWR \approx \frac{\lambda}{\pi d}$$